

Evolución del Sistema de Adquisición de Datos Aplicado a la Determinación de Propiedades Resistentes en Madera Estructural

Resumen: Uno de los inconvenientes en la determinación experimental de propiedades mecánicas y elásticas de elementos estructurales es la medición simultánea de cargas y deformaciones en varios puntos. El instrumental utilizado habitualmente son celdas de carga y comparadores, que disponen de un display digital y salida electrónica de datos. El ensayo a flexión permite determinar el módulo de elasticidad longitudinal local y global, módulo de elasticidad transversal y módulo de rotura. Para este procedimiento se mide la deformación de la probeta en siete puntos simultáneamente. La lectura por observación directa genera incertezas. Para optimizar la adquisición de datos y su fidelidad se plantean dos métodos. Uno efectúa la observación directa empleando cámaras web y software de captura de imágenes. El otro extrae la señal electrónica proveniente de cada dispositivo y almacena la lectura en un archivo digital. Este trabajo presenta la experiencia del grupo GIDEC en la implementación de estos procedimientos.

Palabras Claves: Medición; Precisión; Estructural; Comparadores.

Abstract: One of the drawbacks in the experimental determination of mechanical and elastic properties of structural elements is the simultaneous measurement of loads and deformations at various points. Usually used instruments are load cells and comparators, which have a digital display and electronic data output. The bending test allows the determination of the local and global modulus of elasticity, transverse elastic modulus and modulus of rupture. For this procedure, the deformation of the test piece is measured at seven points simultaneously. Reading by direct observation generates uncertainties. To optimize the data acquisition and its fidelity, two methods are proposed. One performs direct observation using webcams and image capture software. The other extracts the electronic signal from each device and stores the reading in a digital file. This paper presents the experience of the GIDEC group in the implementation of these procedures.

Keywords: Measurement; Precision; Structural; Comparators.

Joel Oggero, Ezequiel Oggero, Nicolás Declaire

Calle Laprida N° 651, Venado Tuerto, Santa Fe, Facultad Regional Venado Tuerto, Universidad Tecnológica Nacional

Mail: gidec@frvt.edu.ar; joeloggero@gmail.com; ezequiel.oggero@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo Guillaumet, el Ing. Roberto Manavella y la Ing. María Cecilia Filippetti, en el marco del proyecto "Caracterización para uso estructural de la madera de Pópulos deltoides" INI3563TC

INTRODUCCIÓN

La madera es un material que presenta una importante variabilidad en sus propiedades mecánicas. Esta elevada variabilidad tiene sus fundamentos en factores de tipo genético, de tipo silvícola e, incluso, de tipo tecnológico (Díez y Fernández-Golfín, 1998)

Las distintas normas de clasificación visual resistente y clases resistentes; IRAM 9662/1/2/3/4:2015, IRAM 9670:2002, UNE EN 338:2010, entre otras muchas; establecen para cada clase como valores típicos la resistencia a flexión, el módulo de elasticidad longitudinal y la densidad, solo en algunos casos se presentan los valores de las otras propiedades mecánicas y elásticas, incluso la Norma UNE EN 384:2010 ofrece expresiones matemáticas para determinar el resto de las propiedades a partir de las tres mencionadas inicialmente. Esta situación no exime de realizar los ensayos para determinar los valores para los esfuerzos de tracción, compresión o corte.

En estas determinaciones se destacan las dificultades para medir las deformaciones en cada escalón de carga a los efectos de la determinación del módulo de elasticidad.

No solo los dispositivos suelen ser complejos de materializar sino que se debe garantizar la lectura simultánea de cargas y deformaciones. En la medida que se aumentan las constantes elásticas a determinar durante el ensayo, aumenta la complejidad. Durante un ensayo normal a flexión, con determinación del módulo de elasticidad local – sin influencia del corte- y módulo de elasticidad global se requiere la lectura de carga y tres comparadores; si se desea determinar durante el mismo procedimiento el módulo de elasticidad transversal el número de comparadores aumenta a no menos de 7.

Se debe considerar que las deformaciones involucradas son del orden de la centésima de milímetro para el módulo de elasticidad longitudinal, llegando a la milésima de milímetro para la determinación del módulo

de elasticidad transversal. La precisión del sistema de adquisición de datos viene dada no solo por un instrumental de calidad y bien calibrado sino por procedimientos que minimicen el error humano y permitan la mayor automaticidad del proceso.

El objetivo de este trabajo es mostrar dos métodos de captura de las lecturas de los dispositivos de medición de las deformaciones y carga, aplicado sobre ensayos de vigas de *Populus deltoides* Stoneville 67 provenientes de bosques implantados en el Delta del Río Paraná.

METODOLOGÍA

Se analizaron 26 vigas de 1" x 4" de 2,20 m de longitud de *Populus deltoides* Stoneville 67 provenientes de bosques implantados en el Delta del Río Paraná.

Los cuerpos de prueba se acopiaron entablillados en una cámara de estabilizado a 20°C de temperatura y 65 % de humedad relativa hasta el momento del ensayo. Luego de cepillados se procedió al relevamiento de sus defectos: presencia de médula, dimensión de los nudos, deformaciones previas al ensayo, arista faltante, fisuras y ataque bilógico. Para realizar estas determinaciones se siguieron las prescripciones de la IRAM 9662/4:2015 y los lineamientos de la UNE-EN 1310:1997.

El procedimiento experimental para determinar el módulo de elasticidad a flexión, se realizó según las prescripciones de la Norma UNE-EN 408:2011, en el laboratorio de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional.

La longitud de las probetas utilizadas corresponden a 19 veces la altura nominal de la sección, las mismas estaban simplemente apoyada con una luz igual a 18 veces el canto nominal, y la aplicación de carga en flexión se realizó sobre dos puntos simétricos a una distancia igual a 6h.

Se colocaron topes laterales en el centro y extremos de la probeta para evitar el vuelco o pandeo lateral. La carga de ensayo se aplicó, mediante una prensa hidráulica con válvula reguladora de caudal que permitía ajustar la velocidad de aplicación de la carga sin superar los 0,003 de la altura en mm/s. La medición de cargas en ensayo se realizó con una celda de 10000 N de capacidad máxima con precisión de 10 N, conectada a un transductor marca CIFIC de registración continua de la lectura.

El tiempo de ensayo se registró hasta la rotura de la probeta, que en todos los casos ocurrió en 300 +/- 120 segundos. En la Figura 1 queda reflejado el esquema general de carga según la norma.

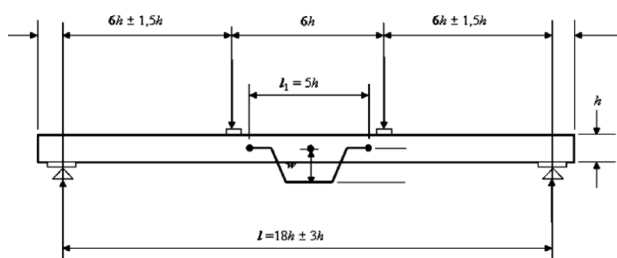


Fig. 1: Esquema general de carga del ensayo de flexión estática.

La Figura 2 muestra el dispositivo para la medición de las deformaciones en el período elástico que fueron medidas en la parte inferior del centro del vano respecto de los apoyos para el cálculo del MOE global, y sobre el eje neutro uno a cada lado de la viga, en un largo de 5 veces la altura en la zona de momento flector constante y sin influencia del esfuerzo de corte, respecto de puntos ubicados simétricamente y separados 5h que se promedian para obtener el MOE local. Para ello se utilizaron comparadores digitales marca Mitutoyo con una precisión de 0,01 mm.



Fig. 2: Dispositivo de medición de las deformaciones.

Durante la realización del ensayo, se tomaron lecturas de carga y deformación para 7 escalones cada 300 N hasta los 2100 N.

El módulo de elasticidad local en flexión se determinó con la expresión 1:

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad (1)$$

Siendo:

$E_{m,l}$: Módulo de elasticidad local en flexión, en newton por milímetro cuadrado.

l_1 : longitud base de medida de deformaciones, en milímetros.

$F_2 - F_1$: incremento de carga en Newton.

$w_2 - w_1$: incremento de deformación en milímetros para $F_2 - F_1$.

I : momento de inercia en milímetros elevados a la cuarta potencia

El módulo de elasticidad global en flexión se determinó con la expresión 2:

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb h} \right)} \quad (2)$$

Siendo:

Em,g: Módulo de elasticidad global en flexión, en Newton por milímetro cuadrado

G: Módulo de elasticidad transversal, en Newton por milímetro cuadrado.

En la determinación del módulo de elasticidad global se consideró el módulo de elasticidad transversal "G" = 650 N/mm², de acuerdo a lo permitido por la norma UNE-EN 408:2011 para los casos en que se desconoce su valor.

Posteriormente a los ensayos en todos los cuerpos de prueba se determinó la densidad (norma ISO 3131:1975) y humedad (norma ISO 3130:1975). Los valores de módulo de elasticidad se ajustaron a la humedad de referencia del 12% de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010. También se registró la ubicación y tipo de rotura.

La captura correcta de las deformaciones y la carga en cada escalón, asegura la fidelidad de los resultados obtenidos, por lo que el procedimiento a través del tiempo se fue perfeccionando tratando de evitar o reducir al máximo los errores en la medición de estos parámetros. A continuación, se describirán los procedimientos de sistema de adquisición de datos aplicados.

Metodología de captura de datos

SISTEMA I - Observación por cámaras web

El empleo de cámaras web apuntando al display de cada comparador digital y al transductor de carga, en combinación de un soft Cerberus para webcam y el soft Fast Stone Capture para capturas de pantalla, permite tomar simultáneamente las mediciones para cada escalón de carga requerido. Para mejorar los controles se anexó un soft de cronómetro que permite tomar el

tiempo de ensayo para cada escalón de carga y para la rotura. La Figura 3 muestra el equipamiento necesario.



Fig. 3: Equipamiento para captura por cámaras Web.

La Norma UNE EN 408:2011 plantea un procedimiento que permite durante el ensayo de flexión la determinación del módulo de elasticidad transversal "G", para ello se requiere medir la deformación de las diagonales de un cuadrado ideal en la zona de corte constante. La Figura 4 ilustra el procedimiento.



Fig. 4: Ensayo a flexión con determinación de módulo G.

Esta determinación obliga a emplear al menos 4 comparadores más, lo que nos lleva a leer de manera simultánea 7 comparadores digitales y una celda de carga. La tarea se resolvió utilizando dos PC, donde una registraba el procedimiento antes descrito y la segunda las

mediciones de otros 4 comparadores digitales y la celda de carga nuevamente para cada escalón de carga.



Fig. 5: Captura de pantalla para 7 comparadores con 2 PC.

Se debe tener en cuenta que, la captura de los comparadores con la cámara web se ve afectada por distintos reflejos dentro del laboratorio lo que prolonga mucho tiempo dedicado para lograr un posicionamiento que brinde una lectura clara. También sucede con el display del transductor, según se muestra en la Figura 5. La tabulación de los datos en una planilla Excel requería de 2 operadores, para minimizar lo más posible los errores humanos por deficiencia en la visibilidad de las lecturas. Esta situación condujo a la búsqueda de una solución más precisa.

SISTEMA II –Captura electrónica desde PC

Con el objetivo de automatizar la medición y por medio de un convenio entre la UTN FRVT y el INTI, se consultó con el Centro de Electrónica del Instituto para considerar la factibilidad del desarrollo de un sistema automático de adquisición de datos. En primera instancia se establecieron los requerimientos de dicho sistema y se analizaron varias alternativas de instrumentación y configuración posibles. De entre ellas se convino en construir un sistema compuesto por relojes comparadores marca Mitutoyo, y continuar con la utili-

zación de las celdas y los cabezales CIFIC, en ambos casos conectados a una PC, vía RS232. De igual manera se especificó el desarrollo de un software para PC que permita configurar el sistema y realiza la captura de datos desde los instrumentos.

Los cabezales para celdas de carga CIFIC poseen una interfaz RS232 de fábrica. Por otro lado, para la conexión de los comparadores se requiere de un multiplexor que permite conectar hasta ocho unidades. Para la conexión a PC se emplearon convertidores RS232 a USB marca ATEN UC-232A, dado que las PC modernas no cuentan, en general, con puertos RS232 y sí con puertos USB.

En la Figura 6 se muestra un esquema de la configuración y una fotografía del sistema ya implementado.

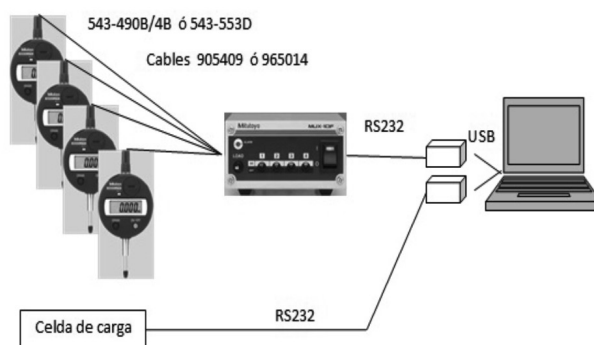



Fig. 6: Esquema de equipo de captura electrónica.

Entre los datos administrativos del ensayo se

Desde el punto de vista técnico del ensayo se puede establecer: el método del ensayo y sus parámetros; la configuración de los puertos de comuni-



GUIUTNVTV01

Método

☐ Tiempo

5

[s]

☒ Carga

50

[kg]

Comp

☐ Desplazamiento

0.5

[mm]

1

2

UTN VT Ensayo...

Comenzar medición

Terminar medición

!

Configuración de puertos

Balanza

COM3

COM4

Cab1

Cab2

Mux Mitutoyo

COM4

COM5

Datos del ensayo

Título

FLEXION NORMA 408

Operador

JUANA ARANDA

Fecha

22-may-2015

Archivo

D:\UTN VT\GUIUTNVTV01\mediciones\stoneville\22-5-2015\PSV 649\PSV649.csv

Nombre de archivo

Instrumentos: Celda y Comparadores

Celda

Indica el número, carga máxima, mínima división.....

☒ 1

DETERMINACION G (Comparador 143)

☒ 2

DETERMINACION G (Comparador 144)

☒ 3

DETERMINACION G (Comparador 145)

☒ 4

DETERMINACION G (Comparador 146)

☒ 5

DEFORMACION H1 (en cara 1)

☒ 6

DEFORMACION H2 (en cara 2)

☒ 7

DEFORMACION GLOBAL

☐ 8

Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....

Valores Tope

4500

[kg]

12

[mm]

12

[mm]

12

[mm]

12

[mm]

22

[mm]

22

[mm]

45

[mm]

10

[mm]

Mediciones

1614.2

Max: 1614.2

-0.001

4.389

!

0.001

6.143

!

0.001

5.823

!

0.001

5.787

!

0.000

14.880

!

0.000

15.950

!

0.000

6.480

!

0.000

x

!

Descripción del ensayo

Descripción del ensayo.....

1

2

cación empleados; el valor tope para la indicación de alarma de la celda utilizada; el estado de habilitación de los comparadores empleados, del 1 a 8; los valores tope para la alarma de cada uno de ellos. Mediante el empleo de sendos botones se puede iniciar y detener un ensayo. También se puede realizar una prueba preliminar de lectura de los instrumentos conectados, muy útil durante la puesta en marcha de una serie de ensayos para verificar el correcto funcionamiento del banco de mediciones.

Durante los ensayos, la interfaz permite visualizar los valores medidos desde los instrumentos y una serie de alarmas. Los valores indicados son los de desplazamiento, leídos desde los comparadores y los de carga desde la celda. Se indica la carga máxima

registrada durante el ensayo. Las alarmas indican si se alcanza el valor tope de la celda o de desplazamiento de cada comparador. Tienen el objetivo de avisar al usuario para el cuidado del instrumental. La Figura 7 muestra la interface de usuario.

Los métodos de ensayo posibles son tres: Por tiempo, donde se realiza una medición de la carga y de los comparadores habilitados cada cierto intervalo seleccionado por el operador. Por carga, donde se miden todos los instrumentos a intervalos de carga regulares. Y por desplazamiento, tomando una medición de todos los instrumentos a intervalos de desplazamiento establecidos.

Al finalizar el ensayo, se almacenan en una planilla tipo Excel todos los datos de configuración y las mediciones. La Figura 8 presenta el reporte de los datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Título: Flexion vigas stoneville 1x4									
2	Operador: Joel									
3	Fecha: 01-sep-2015									
4	Archivo: D:\UTN VT\GUIUTNVT01\mediciones\stoneville\vigas 1x4\1-9-15\Viga TPS 154.csv									
5	Método: Carga 25[kg]									
6	Celda: 2000 kg									
7	Comparador1: FG									
8	Comparador2: H1									
9	Comparador3: H2									
10	Comparador4: Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....									
11	Comparador5: Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....									
12	Comparador6: Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....									
13	Comparador7: Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....									
14	Comparador8: Indica el número de ID, precisión, carrera, ubicación.....									
15	Descripción: Descripción del ensayo.....									
16	Datos:									
17	Peso	Comp1	Comp2	Comp3	Comp4	Comp5	Comp6	Comp7	Comp8	Tiempo
18	0.1	22.640	5.420	0.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0
19	31.0	24.240	5.570	1.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	45.0
20	57.7	25.540	5.700	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	65.0
21	85.6	26.880	5.840	1.370	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	85.0
22	114.1	28.230	5.980	1.560	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	105.0
23	141.3	29.620	6.130	1.740	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	125.0
24	168.5	31.020	6.290	1.930	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	145.0
25	195.0	32.420	6.440	2.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	165.0

Fig. 8: Reporte de toma de datos del software.

RESULTADOS

Solo se presentarán los resultados estadísticos correspondientes a la determinación de los módulos de elasticidad tanto global como local, en virtud que es sobre los que tiene incidencia el sistema de medición carga –deformación.

Dónde:

$E_{m,g}$: módulo de elasticidad global ajustado a 12% de humedad.

$E_{m,l}$: módulo de elasticidad local ajustado a 12% de humedad.

De los valores obtenidos, los que resultan necesarios para determinar las propiedades en la madera estructural es el valor medio, donde observamos que la diferencia de mediciones entre sistemas aplicados fue del 0,15% para el $E_{m,g}$ y del 0,57% para el $E_{m,l}$.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La determinación de módulo de elasticidad derivó en resultados muy similares aplicando ambos procedimientos de adquisición de datos.

El sistema por cámaras web presenta como limitación la calidad de la imagen por reflejos de luz, la cantidad de cámaras simultáneas que se puede capturar y el mayor tiempo requerido en la puesta en posición del equipamiento. Tiene como ventaja, que queda documentado en una imagen los valores para cada escalón de carga.

El sistema de adquisición de datos en forma electrónica, es de más fácil posicionamiento, resulta más simple y claro el pasaje de los datos de ensayo de cada elemento a la planilla que procesa todas las piezas en conjunto, incluso se puede copiar y pegar. Pero no permite disponer del registro fotográfico de cada escalón, solo del archivo de datos.

Respecto del costo de equipamiento, el sistema de cámaras web requiere una inversión considerablemente menor.

RECONOCIMIENTOS

A los graduados y alumnos del Grupo GIDEC (Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles) de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional por su invaluable colaboración en el ensayo de los elementos estructurales.

Parámetros	S. I	S. II	Diferencia %	S. I	S. II	Diferencia %
	$E_{m,g}$ N/mm ²	$E_{m,g}$ N/mm ²		$E_{m,l}$ N/mm ²	$E_{m,l}$ N/mm ²	
Máximo	14.650	14.716	6,08	16.213	16.213	5,83
Mínimo	9.629	9.524	-6,09	8.081	8.075	-6,80
Promedio	11.610	11.595	-0,15	11.349	11.267	-0,57
Percentil 5%	9.721	9.768	-4,32	8.331	8.582	-5,03
Desvío Estándar	1.739	1.775	2,30	2.326	2.265	3,15
COV [%]	15	15		20	20	
Cantidad [n]	26	26		25	25	

Tabla 1: Comparación de los valores de $E_{m,g}$ y $E_{m,l}$ según ambos sistemas.

REFERENCIAS

- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2010). *Madera estructural. Clases resistentes. UNE-EN 338:2010*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2010). *Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. UNE-EN 384:2010*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2011). *Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. UNE-EN 408:2011*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (1997). *Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de singularidades. UNE-EN 1310:1997*. Madrid.
- Diez, M.R.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I., 1998. Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de *Pinus sylvestris*, L. *Revista de Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales*
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (Araucaria angustifolia)*. IRAM 9662-1. Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 2: Tablas de Eucalyptus grandis*. IRAM 9662-2. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 3: Tablas de Pino taeda-elliotti*. IRAM 9662-3. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2014). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 4: Tablas de álamo 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' (Pópulos deltoides)*. Esquema IRAM 9662-4. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2002). *Madera estructural. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliotti y Pino taeda) del noroeste argentino mediante una evaluación visual*. IRAM 9670. Buenos Aires
- International Organization for Standardization (E.). *Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests*. ISO 3130 (1975)
- International Organization for Standardization (E.). *Wood - Determination of density for physical and mechanical tests*. ISO 3131 (1975).